

**19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

Offenlegungsschrift
DE 100 32 340 A 1

⑤ Int. Cl.⁷:
B 62 D 6/00
B 62 D 5/04
// B62D 101:00,
113:00, 119:00, 153:00

(21) Aktenzeichen: 100 32 340.5
(22) Anmeldetag: 4. 7. 2000
(43) Offenlegungstag: 31. 1. 2002

DE 100 32 340 A1

⑦ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE; ZF
Lenksysteme GmbH, 73527 Schwäbisch Gmünd,
DE

74) Vertreter:
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart

(72) Erfinder:
Lohner, Herbert, 71292 Frielzheim, DE; Dominke,
Peter, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE; Cao,
Chi-Thuan, Dr., 70825 Korntal-Münchingen, DE;
Pfeiffer, Wolfgang, 71723 Großbottwar, DE;
Leimbach, Klaus-Dieter, Dr., 73569 Eschach, DE;
Harter, Werner, 75428 Illingen, DE; Blessing, Peter,
Prof., 74078 Heilbronn, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:

DE	197 51 125 A1
DE	196 01 825 A1
DE	43 04 664 A1

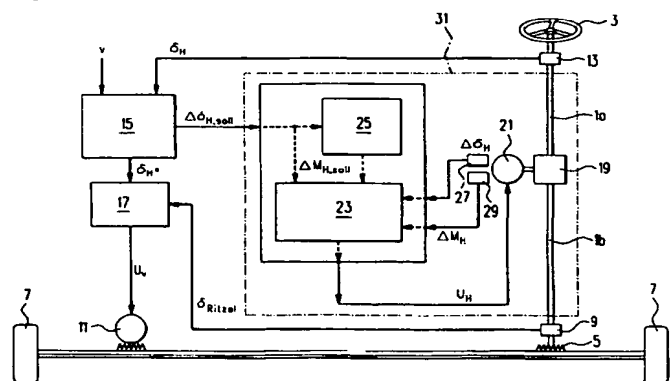
ACKERMANN, J. (u.a.): Fahrsicherheit durch robuste Lenkregelung. In: Automatisierungstechnik, 1996, Jg. 44, Heft 5, S. 219-225;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zum Lenken eines Fahrzeugs mit Servolenkung

(51) Es wird ein Verfahren zum Lenken eines Fahrzeugs und ein Lenksystem vorgeschlagen, bei welchem eine variable Momentenunterstützung des Fahrerlenkwunschtes und ein von einem Fahrdynamikregler ausgelöster Eingriff in die Stellung der gelenkten Räder ohne gegenseitige Beeinträchtigung realisierbar sind. Außerdem können weitere Zusatzfunktionen wie bspw. die Spurführung des Fahrzeugs einfach und wahlweise mit oder ohne Kompensation des Lenkgefühls am Lenkrad in das erfindungsgemäße Verfahren bzw. das erfindungsgemäße Lenksystem integriert werden.



DE 100 32 340 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Lenken eines Fahrzeugs und eine Lenkung für ein Fahrzeug nach dem Oberbegriff des nebengeordneten Anspruchs 14.

[0002] Bei Servolenkungen ist ein momentenunterstützender hydraulischer oder elektrischer Lenksteller vorhanden, welcher das zum Lenken des Fahrzeugs aufzubringende Moment verringert und somit den Fahrer entlastet. Außerdem sind bei modernen Servolenkungen die Momentenunterstützung und/oder das Übersetzungsverhältnis der Lenkung geschwindigkeitsabhängig. Bei niedrigen Geschwindigkeiten wie sie für das Ein- und Ausparken typisch sind, wird eine sehr direkte Lenkung mit großer Momentenunterstützung bevorzugt, während bei schneller Fahrt eine indirekte Lenkung mit geringer Momentenunterstützung wünschenswert ist.

[0003] Um die Fahrstabilität von Fahrzeugen weiter zu erhöhen, sind darüber hinaus Lenkungen bekannt, bei denen ein Fahrdynamikregler die Stellung der gelenkten Räder unabhängig vom Lenkwunsch des Fahrers verstellt. Dabei überlagert der Fahrdynamikregler dem Fahrerlenkwunsch einen zusätzlichen Lenkwinkel an der Lenksäule.

[0004] Bei diesen bekannten Lenkungen beeinflussen sich Momentenunterstützung und Fahrdynamikregelung gegenseitig, was folgende Nachteile mit sich bringt:

- Wegen der geringen Momentenunterstützung und der indirekten Lenkung bei hohen Fahrgeschwindigkeiten können Eingriffe in die Stellung der gelenkten Räder, welche von einem über ein Überlagerungsgetriebe auf die Lenksäule wirkenden Lenkradmotor vorgenommen werden, nicht mit der erforderlichen Geschwindigkeit vorgenommen werden.
- Die Momentenunterstützung und das Lenkgefühl, welches über das Lenkrad an den Fahrer übermittelt wird, können nicht unabhängig voneinander beeinflusst und eingestellt werden.
- Die Integration weiterer Funktionen in die Lenkung ist, wenn überhaupt, nur mit Schwierigkeiten möglich.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Lenken eines Fahrzeugs bereitzustellen, bei welchem Momentenunterstützung und Fahrdynamikregelung sich nicht negativ beeinflussen. Außerdem soll das erfindungsgemäße Verfahren einfach an verschiedene Fahrzeugtypen adaptierbar sein und die Integration weiterer Funktionen erleichtern.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zum Lenken eines Fahrzeugs, bei welchem

- der Lenkradwinkel erfasst wird,
- der Lenkradwinkel fahrgeschwindigkeitsabhängig modifiziert wird,
- ein Korrekturlenkwinkel in Abhängigkeit der Fahrdynamik des gelenkten Fahrzeugs ermittelt wird,
- der modifizierte Lenkradwinkel und der Korrekturlenkwinkel zu einem Soll-Lenkwinkel überlagert werden,
- die Stellung der gelenkten Räder erfasst wird,
- die Winkeldifferenz zwischen Soll-Lenkwinkel und der Stellung der gelenkten Räder gebildet wird,
- die Stellung der gelenkten Räder in Abhängigkeit der Winkeldifferenz ($\delta_{\text{Ritzel, Soll}} - \delta_{\text{Ritzel}}$) geregelt wird und
- der Korrektur-Lenkradwinkel an der Lenksäule

[0007] Bei diesem erfindungsgemäßen Verfahren findet der Fahrdynamikeingriff nicht durch Ansteuern des auf die Lenksäule wirkenden Lenkradmotors, sondern durch Ansteuern eines auf die gelenkten Räder wirkenden Lenkmotors statt. Dadurch ist der Fahrdynamikeingriff unabhängig von der Momentenunterstützung des Lenkstellers und außerdem wird die Lenksäule von der Übertragung des durch den Fahrdynamikeingriff verursachten Moments entlastet.

[0008] Der Lenkradmotor einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitenden Lenkung dient nur noch der Kompensation der durch den Fahrdynamikeingriff verursachten Änderung der Stellung der gelenkten Räder, so dass das Lenkgefühl unabhängig von der Momentenunterstützung beeinflusst werden kann. Dadurch wird eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitende Lenkung einfacher adaptierbar und regelungstechnisch einfacher zu beherrschen. Außerdem erhöht sich die Sicherheit der Lenkung, da die Lenksäule gegenüber herkömmlichen Servolenkungen mit Fahrdynamikregelung entlastet wird. Diese Kompensation ist nicht auf die Änderung des Lenkgefühls beschränkt, die durch den Fahrdynamikeingriff verursacht wird, sondern kann auch bei anderen Ursachen für eine Änderung des Lenkgefühls eingesetzt werden.

[0009] Varianten der Erfindung sehen vor, dass die Stellung der gelenkten Räder durch einen ersten Positionsregler mit PD-Charakteristik oder Kaskadenstruktur geregelt wird, dass das Ausgangssignal des ersten Positionsreglers ein vom Lenkmotor auf das Ritzel zu übertragendes Sollmoment ist, dass das Sollmoment in einen Sollstrom umgewandelt wird und dass der Lenkmotor mit dem Sollstrom angesteuert wird, so dass eine hohe Regelgüte gewährleistet ist.

[0010] Außerdem können in das erfindungsgemäße Verfahren weitere Funktionen ohne großen Aufwand integriert werden. Dabei bleibt eine nach dem erfindungsgemäßen Verfahren arbeitende Lenkung weiterhin einfach adaptierbar.

[0011] Bei einer Ergänzung des erfindungsgemäßen Verfahrens weist der erste Positionsregler eine nicht-lineare statische Kennlinie oder eine adaptiv verstellbare Kennlinie auf, so dass das Regelungsverhalten weiter verbessert wird.

[0012] In weiterer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der modifizierte Lenkradwinkel (δ_{H*}) in eine Soll-Gierrate (ω_{ref}) oder eine Soll-Querbeschleunigung (a_y) umgewandelt wird, und dass ein Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) in Abhängigkeit der Soll-Gierrate (ω_{ref}) oder der Soll-Querbeschleunigung (a_y) geregelt wird, so dass die Fahrstabilität des Fahrzeugs durch eine Beeinflussung der Stellung der gelenkten Räder weiter erhöht wird. Ausgangssignal des Gier-Reglers ist ein Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$), welches der Führungsgröße des ersten Positionsreglers überlagert werden kann und außerdem als Führungsgröße zur Kompensation der Lenkbewegung an der Lenksäule benutzt werden kann.

[0013] In Ergänzung des Verfahrens ist der Gier-Regler ein PD-Regler oder ein Modellfolgeregler, so dass ein stabiles Regelverhalten hoher Regelgüte erzielt wird.

[0014] In weiterer Ergänzung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der Korrektur-Lenkradwinkel in ein Korrekturmoment umgewandelt wird, dass das zwischen beiden Teilen der Lenksäule vorhandene Differenz-Moment gemessen wird, dass die Momentendifferenz aus dem Korrekturmoment und dem Differenz-Moment gebildet wird, und dass der Korrektur-Lenkradwinkel in Ab-

hängigkeit der Momentendifferenz kompensiert wird. Durch die Regelung des Handmoments kann die Änderung des Lenkgefühls, welches sich aus einem Eingriff des Fahrdynamikreglers in die Stellung der gelenkten Räder ergibt, vollständig kompensiert werden, so dass der Fahrer des Fahrzeugs nichts von diesem Eingriff spürt.

[0015] Bei einer anderen erfindungsgemäßen Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass der Korrektur-Lenkradwinkel in ein Korrekturmoment umgewandelt wird, und dass das Korrekturmoment in einen Soll-Korrekturstrom umgewandelt wird, und dass der Korrektur-Lenkradwinkel am Lenkrad in Abhängigkeit des Soll-Korrekturstroms kompensiert wird, so dass auf einen Momentensensor an der Lenksäule verzichtet werden kann.

[0016] Eine weitere Ergänzung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die Drehwinkel-Differenz zwischen beiden Teilen der Lenksäule gemessen wird, dass die Winkeldifferenz aus Korrektur-Lenkradwinkel und Drehwinkel-Differenz gebildet wird, und dass der Korrektur-Lenkradwinkel am Lenkrad in Abhängigkeit der Winkeldifferenz kompensiert wird, so dass anstelle eines Momentensensors ein Winkelsensor an der Lenksäule eingesetzt werden kann.

[0017] Bei einer anderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Spurführungs-Lenkradwinkeländerung ermittelt wird, und dass in Abhängigkeit der Spurführungs-Lenkradwinkeländerung und des modifizierten Lenkradwinkels dem Soll-Lenkmoment eine Soll-Momentendifferenz überlagert wird, so dass, ohne in die Struktur des erfindungsgemäßen Verfahrens einzugreifen, eine Spurführungsregelung in das Verfahren integriert werden kann. In gleicher Weise können weitere Funktionen in das erfindungsgemäße Verfahren integriert werden.

[0018] In weiterer Ergänzung der Erfindung ist vorgesehen, dass eine Spurführungs-Lenkradwinkeländerung ermittelt wird, dass die Winkeldifferenz aus modifiziertem Lenkradwinkel und Spurführungs-Lenkradwinkeländerung gebildet wird, dass in Abhängigkeit der Winkeldifferenz dem modifizierten Lenkradwinkel eine Spurführungs-Lenkradwinkeländerung überlagert wird, und dass in Abhängigkeit des daraus resultierenden Soll-Lenkradwinkels der Soll-Lenkwinkel geregelt wird, so dass der Fahrer durch die Änderung des vom Lenkrad auf seine Hände übertragenen Moments den Eingriff durch den Spurführungsregler spürt.

[0019] Bei beiden Varianten der Integration der Spurführungsregelung spürt der Fahrer den Eingriff über das Lenkgefühl und er kann entscheiden, ob er diese Kursvorgabe annehmen will oder nicht. Der Fahrer behält jedoch nach wie vor die Verantwortung für die Fahrtrichtung des Fahrzeugs; er kann die Vorgabe des Spurführungsreglers auch ignorieren.

[0020] Die eingangs genannte Aufgabe wird auch gelöst durch eine Lenkung für ein Fahrzeug mit einem an einer Lenksäule angeordneten Lenkrad, mit einem an der Lenksäule angeordneten Drehwinkel oder Momentensensor, mit einem Lenkgetriebe, mit einem hydraulischen oder elektrischen Lenksteller, mit einem zweiten Drehwinkelsensor zur Messung der Stellung der gelenkten Räder und mit einem Steuergerät, wobei ein auf die gelenkten Räder wirkender Lenkmotor vorhanden ist und wobei das Steuergerät ein Steuergerät nach Anspruch 11 ist, so dass die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens auch bei dieser Lenkung zum Tragen kommen.

[0021] Weitere Vorteile und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind der nachfolgenden Zeichnung, deren Beschreibung und den Patentansprüchen entnehmbar.

[0022] Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in der folgenden Zeichnung dargestellt und nachfolgend beschrieben. Es zeigen:

[0023] Fig. 1 die schematische Darstellung eines Servolenksystems mit zwei Lenkstellern,

[0024] Fig. 2 das Blockschaltbild des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0025] Fig. 3 ein Beispiel einer nicht-linearen adaptiven Kennlinie,

[0026] Fig. 4 ein Beispiel einer geschwindigkeitsabhängigen Übersetzung der Lenkung,

[0027] Fig. 5 eine erfindungsgemäße geschwindigkeitsabhängige Momentenunterstützung,

[0028] Fig. 6 ein Blockschaltbild der Fahrdynamikregelung,

[0029] Fig. 7a die Winkelkompensation an der Lenksäule über eine Momentenregelung,

[0030] Fig. 7b die Winkelkompensation an der Lenksäule über eine Momentensteuerung,

[0031] Fig. 8 die Winkelkompensation an der Lenksäule über eine Positionsregelung und

[0032] Fig. 9 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Spurführung.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0033] In Fig. 1 ist die Servolenkung eines Fahrzeugs mit zwei Lenkstellern schematisch dargestellt. Ein an einer Lenksäule 1 befestigtes Lenkrad 3 ist über ein Lenkgetriebe 5 mit den gelenkten Rädern 7 des Fahrzeugs verbunden. Im Zusammenhang mit der Erfindung werden unter dem Begriff "Lenkrad" alle Arten von Lenkhandhaben verstanden. Das Lenkgetriebe 5 besteht im Wesentlichen aus einer schematisch dargestellten Zahnstange und einem in Fig. 1 nicht dargestellten drehfest mit der Lenksäule 1 verbundenen Ritzel. An der Lenksäule 1 ist ein erster Drehwinkelsensor 9 angeordnet, mit welchem der Drehwinkel δ_{Ritzel} des Ritzels des Lenkgetriebes 5 und damit die Stellung der gelenkten Räder 7 gemessen wird.

[0034] Ein elektrischer Lenkmotor 11 dient der Momentenunterstützung beim Lenken des Fahrzeugs. Zur Regelung des Lenkmotors 11 ist im oberen Teil der Lenksäule 1 ein zweiter Drehwinkelsensor 13 vorgesehen, mit dem der durch Drehen des Lenkrads 3 geäußerte Fahrerlenkwunsch in Form eines Lenkradwinkels δ_H erfasst wird. Der Lenkradwinkel δ_H wird in einer Sollwertbildung 15 bspw. abhängig von der Geschwindigkeit v des Fahrzeugs modifiziert. Dieser modifizierte Lenkradwinkel δ_H^* ist die Führungsgröße eines Lenkreglers 17, in welchem auch der vom ersten Drehwinkelsensor 9 gemessene Drehwinkel δ_{Ritzel} Eingang findet. Über eine Steuerspannung U_v wird der Lenkmotor 11 vom Lenkregler 17 angesteuert und unterstützt dadurch die Lenkbewegung des Fahrzeugs.

[0035] An der Lenksäule 1 ist ein Überlagerungsgetriebe 19 angeordnet. Das Überlagerungsgetriebe 19 ist in der Regel als Planetengetriebe ausgeführt und teilt die Lenksäule 1 in zwei Abschnitte 1a und 1b. Dem vom zweiten Drehwinkelsensor 13 gemessenen Lenkradwinkel δ_H kann mittels des Überlagerungsgetriebes 19 ein weiterer Drehwinkel überlagert werden, so dass der vom ersten Drehwinkelsensor 9 gemessene Drehwinkel δ_{Ritzel} nicht immer gleich dem Lenkraddrehwinkel δ_H ist.

[0036] Angetrieben wird das Überlagerungsgetriebe 19 von einem Lenkradmotor 21, welcher ein in Fig. 1 nicht dargestelltes selbsthemmendes mechanisches Getriebe aufweist und über dieses Getriebe mit dem Überlagerungsge-

triebe 19 gekoppelt ist.

[0037] Geregelt wird der Lenkradmotor 21 von einem Lenkradregler 23, dessen Führungsgröße entweder der von der Sollwertbildung 15 ausgegebene Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$ oder die von einem ersten Umwandler 25 aus dem Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$ berechnete Korrekturmoment $\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$ ist. Je nach Ausführungsform wird in den Lenkradregler 23 entweder der von einem dritten Drehwinkelsensor 27 gemessene Ist-Drehwinkel $\Delta\delta_H$ oder das von einem ersten Momentensensor 29 gemessene Differenz-Moment ΔM_H zurückgeführt.

[0038] Anhand von Fig. 1 ist der Unterschied zwischen der Momentenunterstützung, die auch einen aktiven Lenkeingriff durch Ändern der Stellung der gelenkten Räder 7 abweichend vom Fahrerlenkwunsch umfassen kann, durch den Lenkmotor 11 und der dadurch erforderlichen Lenkgefühlkompensation, die in Fig. 1 durch einen Rahmen 31 optisch zusammengefasst ist, erkennbar.

[0039] In Fig. 2 ist das Regelungskonzept der erfindungsgemäßen Lenkung näher beschrieben. Gleiche Bauteile bzw. Blöcke haben die gleichen Bezugszeichen. Es gilt das bezüglich einer Figur Gesagte für die anderen Figuren entsprechend. Das Blockschaltbild der Fig. 2 ist in mehrere Blöcke 33, 35, 37 und 39 zusammengefasst, die nachfolgend erläutert werden.

[0040] Im Block 33 sind die Sollwertbildung 15 und ein Fahrdynamikregler 41 zusammengefasst. Das Ausgangssignal der Sollwertbildung 15 ist der modifizierte Lenkradwinkel δ_{H*} , welcher als Eingangsgröße des Fahrdynamikreglers 41 dient. Der Fahrdynamikregler 41 benötigt darüber hinaus die Geschwindigkeit v und die Gier-Rate ω oder die Querbeschleunigung a_y des Fahrzeugs. Daraus berechnet der Fahrdynamikregler 41 einen Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$. Der Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$ und der modifizierte Lenkradwinkel δ_{H*} werden in einer Additionsstelle addiert und bilden die Führungsgröße $\delta_{\text{Ritzel, Soll}}$ des ersten Positionsreglers 43.

[0041] In dem Block 35, welcher auch den Positionsregler 43 umfasst, wird die Regelung der Stellung der gelenkten Räder 7 vorgenommen. Der erste Positionsregler 43 steuert den Lenkmotor 11 so an, dass der Ritzelwinkel δ_{Ritzel} , welcher vom ersten Drehwinkelsensor 5 gemessen wird, der Führungsgröße $\delta_{\text{Ritzel, Soll}}$ folgt. Das dazu erforderliche, vom Lenkmotor 11 aufzubringende Soll-Lenkmoment $M_{M, \text{Soll}}$ ist die Ausgangsgröße des ersten Positionsreglers 43. Über einen zweiten Umwandler 45 wird das Soll-Lenkmoment $M_{M, \text{Soll}}$ in einen Sollstrom $I_{H, \text{Soll}}$ umgewandelt. Die zur Momentenunterstützung notwendige Momenten-/Stromumwandlung hängt auch von der Bauart des Lenkmotors 11 ab. Im Fall eines Gleichstrommotors ist der Zusammenhang zwischen Strom und Moment linear. Bei Asynchronmotoren ist die Umwandlung nicht-linear und betriebspunktabhängig, so dass vorgeschlagen wird, die sogenannte feldorientierte Regelung beim zweiten Umwandler 45 einzusetzen.

[0042] Ein erster Stromregler 47 wandelt den Sollstrom $I_{M, \text{Soll}}$ in eine entsprechende Spannung um, mit der der Lenkmotor 11 angesteuert wird. Der Lenkmotor 11 erzeugt dadurch ein Motormoment M_M , welches zu dem vom Lenkgetriebe 5 aufgetragenen Lenkmoment addiert wird. In Fig. 2 ist das Lenkgetriebe 5 als Zahnstangenlenkung ausgeführt. Ein Drehstab 49 sorgt für ein Handmoment M_{PS} des Lenkgetriebes 5. Auf das Lenkgetriebe 5 wirkt außerdem noch die Spurstangenkraft F_{Sp} ein.

[0043] Damit der Fahrer einen Eingriff des Fahrdynamikreglers 41 nicht am Lenkrad 3 spürt, ist ein Kompensationsregler 51 vorgesehen, dessen Führungsgröße der Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$ ist. Über einen zweiten Stromregler 53 wird der Lenkradmotor 21 angesteuert. Dieser

treibt das Überlagerungsgetriebe 19 an, so dass der durch den Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$ verursachte Eingriff in die Stellung der gelenkten Räder 7 sich nicht am Lenkrad 3 bemerkbar macht.

[0044] Als weitere Funktion des erfindungsgemäßen Lenksystems ist eine Spurführungsregelung 39 mit einem Spurführungsregler 55 dargestellt. Im Falle einer automatischen Spurführung des Fahrzeugs wird eine Kursvorgabe δ_K , die bspw. mit Hilfe einer auf die Fahrbahn gerichteten Video-Kamera ermittelt wird, mit dem modifizierten Lenkradwinkel δ_{H*} verglichen und mit Hilfe des Spurführungsreglers 55 eine Sollmomenten-Differenz $\Delta M_{M, \text{Soll}}$ erzeugt, die auf das Soll-Lenkmoment $M_{M, \text{Soll}}$ addiert wird. Da die Sollmomenten-Differenz $\Delta M_{M, \text{Soll}}$ nicht in der Kompensationsregelung 37 berücksichtigt wird, spürt der Fahrer die Sollmomenten-Differenz $\Delta M_{M, \text{Soll}}$ der Spurführungsregelung am Lenkrad 3, so dass er entscheiden kann, ob er der Spurführungsregelung 39 folgen will oder ob er seinen Lenkwunsch aufrechterhält. Auf diese Weise bekommt der Fahrer die Lenkhilfe im Sinne einer Spurführung und behält nach wie vor die Verantwortung für die Lenkentscheidung. [0045] In gleicher Weise wie die Fahrdynamikregelung 41 und die Spurführungsregelung 39 können weitere Funktionen in das erfindungsgemäße Lenksystem integriert werden. Dabei gibt es die Möglichkeit, die Auswirkungen dieser Funktion auf das Lenkrad zu kompensieren, wie bspw. im Falle der Fahrdynamikregelung vorgeschlagen oder sie nicht zu kompensieren, wie im Falle der Spurführungsregelung 39 vorgeschlagen.

[0046] In Fig. 3 ist eine mögliche Kennlinie eines ersten Positionsreglers 43 dargestellt. Der Entwurf des Positionsreglers hängt stark von dem Lenkmotor 11 ab und wird nicht näher erläutert. Grundsätzlich eignen sich Regler mit digitalen Algorithmen auf der Basis einer PD-Struktur, einer Kaskadenstruktur oder einer generell adaptiven Struktur. Die grundsätzliche Idee ist dabei, die Erzeugung der Sollmomentenunterstützung $M_{M, \text{Soll}}$ mit Hilfe einer Positionsregelung. Damit bestimmte gewünschte Unterstützungsverhalten erreicht werden können, sind ergänzend zu den o. g. linearen Reglertypen noch nicht-lineare statische Kennlinien oder adaptive verstellbare Reglerv Verstärkungen notwendig. In Fig. 3 ist eine nicht-lineare statische Kennlinie eines ersten Positionsreglers 43 dargestellt.

[0047] Anhand der Fig. 4 wird eine mögliche Realisierung des modifizierten Lenkradwinkels δ_{H*} erläutert. Das Lenkgetriebe 5 der Zahnstangenlenkung wird konstruktiv mit einer festen Lenkwinkeluntersetzung von 17 : 1 bis 15 : 1 ausgelegt. Diese Untersetzung wird vom Fahrer bei mittleren Fahrgeschwindigkeiten v als angenehm empfunden. Beim Rangieren ist es erwünscht, dass mit kleinem Lenkradwinkel große Radeinschlagwinkel erzielt werden, d. h. die Lenkwinkeluntersetzung soll bei niedriger Geschwindigkeit auf bspw. 8 : 1 verkleinert werden. Bei höherer Geschwindigkeit soll die Lenkwinkeluntersetzung vergrößert werden auf bspw. 20 : 1. Diese geschwindigkeitsabhängige Lenkuntersetzung wird durch die in Fig. 4 skizzierte Anordnung erfüllt. In Fig. 4 ist ein nicht-linearer Zusammenhang zwischen dem modifizierten Lenkradwinkel δ_{H*} und dem Lenkradwinkel δ_H in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit v dargestellt. Bei Geschwindigkeiten kleiner v_1 ist das Verhältnis $\delta_{H*} : \delta_H = 1,3$; bei Geschwindigkeiten größer v_2 ist dieses Verhältnis = 0,7. Im Geschwindigkeitsbereich zwischen v_1 und v_2 ändert sich das Verhältnis δ_{H*} zu δ_H linear.

[0048] Da δ_{H*} Teil der Führungsgröße des ersten Positionsreglers 43 ist, wird der Lenkmotor 11 so lange angesteuert, bis der Winkel δ_{Ritzel} der Führungsgröße $\delta_{\text{Ritzel, Soll}}$ entspricht. Wegen der in Fig. 4 dargestellten nicht-linearen

Kennlinie der Sollwertbildung 15 ist der Zusammenhang zwischen δ_{Ritzel} und δ_H ebenfalls nicht-linear. Über den Fahrdynamikregler 41 findet δ_{H*} als $\Delta\delta_{H, Soll}$ mittelbar Eingang in die Kompensationsregelung, so dass der Fahrer am Lenkrad 3 nichts von der sich ändernden Lenkunterstützung spürt.

[0049] Durch die geschwindigkeitsabhängige Lenkübersetzung wird gleichzeitig auch eine geschwindigkeitsabhängige Momentenunterstützung realisiert. In Fig. 5 ist die Realisierung der geschwindigkeitsabhängigen Momentenunterstützung durch die Kombination der geschwindigkeitsabhängigen Lenkübersetzung und einer M_H/M_M -Kennlinie dargestellt. Im oberen Teil von Fig. 5 ist eine geschwindigkeitsabhängige Momentenunterstützung durch eine Schar von M_H/M_M -Kennlinien nach dem Stand der Technik dargestellt. Die geschwindigkeitsabhängige Momentenunterstützung kann aber auch durch eine Kennlinie 57 unter Zuhilfenahme der im unteren Teil von Fig. 5 dargestellten geschwindigkeitsabhängigen Lenkübersetzung erzielt werden. Diese geschwindigkeitsabhängige Momentenunterstützung ist einfacher und kostengünstiger zu realisieren. Aufgrund der geschwindigkeitsabhängigen Lenkübersetzung wandelt sich die Momentenunterstützung auch entsprechend der Geschwindigkeit, d. h. bei niedriger Geschwindigkeit ist die Lenkung direkter und die Momentenunterstützung größer als bei höherer Geschwindigkeit.

[0050] In Fig. 6 ist der Fahrdynamikregler 41 im Detail dargestellt. Der Fahrdynamikregler 41 besteht aus einem Referenzmodell 59, welches, ausgehend vom modifizierten Lenkradwinkel δ_{H*} und der Geschwindigkeit v des Fahrzeugs eine Referenz-Gierrate ω_{ref} berechnet. Dabei werden sowohl die geschwindigkeitsabhängige Lenkübersetzung als auch die Kinematik der Lenkung berücksichtigt. Die Differenz aus der Referenz-Gierrate ω_{ref} und der von einem nicht dargestellten Gier-Sensor gemessenen Gier-Rate ω des Fahrzeugs ist die Führungsgröße eines Gier-Reglers 61. Daraus ermittelt der Gier-Regler 61 einen Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, Soll}$, welcher, wie aus Fig. 2 ersichtlich, sowohl Eingang in die Führungsgröße des ersten Positionsreglers 43 als auch in die Kompensationsregelung 37 findet.

[0051] Der geschwindigkeitsabhängige modifizierte Lenkradwinkel δ_{H*} wird mit Hilfe des Gier-Reglers 61 so angepasst, dass ein gewünschtes Gier-Verhalten des Fahrzeugs eingehalten wird. Das Referenzmodell 59 dient dazu, das gewünschte Gier-Verhalten in Form einer Soll-Gier-Geschwindigkeit ω_{ref} vorzugeben. Der Gier-Regler kann ein standardmäßiger PID-Regler oder ein robuster Modellfolge-Regler sein.

[0052] Alternativ zur Gierrate ω , kann auch die Querbeschleunigung a_y zur Fahrdynamikregelung verwendet werden.

[0053] Die erfindungsgemäße Sollwertbildung für die positionsgeregelte Momentenunterstützung ist sehr vorteilhaft, weil die Anforderungen "variable, geschwindigkeitsabhängige Momentenunterstützung" und "Fahrdynamikregelung" miteinander erfüllt werden können. Dies ergibt sich unter anderem aus Fig. 5. Normalerweise erfolgen Fahrdynamikeingriffe bei höherer Geschwindigkeit v . Dort ist die Momentenunterstützung normalerweise gering. Durch die Überlagerung des Fahrdynamikkorrekturwinkels $\Delta\delta_{H, Soll}$ hat man jedoch die Möglichkeit, die Momentenunterstützung auch bei höheren Fahrgeschwindigkeiten im Sinne des Fahrdynamikeingriffs zu erhöhen. Damit wird vermieden, dass Positionsregelung und Fahrdynamikregelung wie im Stand der Technik gegeneinander arbeiten.

[0054] Durch die Überlagerung des Korrektur-Lenkradwinkels $\Delta\delta_{H, Soll}$ auf die Führungsgröße des ersten Positionsreglers 43 entsteht gleichzeitig eine Veränderung des Lenk-

gefühls, das in Form einer Lenkwinkeldifferenz über die Lenksäule 1 an das Lenkrad 3 und damit auf den Fahrer übertragen wird. Wenn die Veränderung des Lenkgefühls vermieden werden soll, muss die Lenkwinkeldifferenz wie oben beschrieben kompensiert werden.

[0055] In Fig. 7a ist eine erste Ausführungsvariante einer Kompensation des Korrektur-Lenkradwinkels $\Delta\delta_{H, Soll}$ am Lenkrad 3 als Blockschaltbild dargestellt. Die Eingangsgröße $\Delta\delta_{H, Soll}$ der Kompensationsregelung 37 wird durch eine Nachbildung des Regelkreises der Positionsregelung 35 sowie des Lenkmotors 11 und des Lenkgetriebes 5 in ein Korrekturmoment $\Delta M_{H, Soll}$ umgewandelt. Diese Umwandlung wird durch einen dem ersten Positionsregler 43 entsprechenden zweiten Positionsregler 63 und ein Lenkungsmodell 65 vorgenommen. Das Soll-Korrektur-Lenkradmoment $\Delta M_{H, Soll}$ bildet zusammen mit dem am Überlagerungsgetriebe 19 gemessenen Differenz-Moment ΔM_H die Eingangsgröße des Kompensationsreglers 51. Über den zweiten Stromregler 53 wird der Lenkradmotor 21 angesteuert, so dass das Überlagerungsgetriebe 19 dem oberen Abschnitt 1a der Lenksäule 1 einen Korrektur-Lenkwinkel $\Delta\delta_H$ überlagert und der Fahrer vom Eingriff des Fahrdynamikreglers 41 am Lenkrad 3 nichts spürt.

[0056] Die Idee dieser Ausführungsform liegt darin, die durch den Fahrdynamikeingriff verursachte Lenkgefühlsveränderung, die sich aus dem Soll-Korrektur-Lenkradmoment $\Delta M_{H, Soll}$ ergibt, aus dem Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, Soll}$ zu berechnen und anschließend zu kompensieren.

[0057] In Fig. 7b ist eine zweite Ausführungsform einer Winkelkompensation dargestellt. Statt einer Momentenregelung wird hier eine Momentensteuerung vorgeschlagen, so dass auf einen Drehmomentsensor im Überlagerungsgetriebe 19 verzichtet werden kann. Anstelle des Kompensationsreglers 51 wird ein dritter Umwandler 71 eingesetzt, welcher das Soll-Korrektur-Lenkradmoment $\Delta M_{H, Soll}$ in einen Soll-Korrekturstrom $\Delta I_{H, Soll}$ umwandelt.

[0058] Eine dritte Ausführung der Winkelkompensation ist in Fig. 8 dargestellt. Bei dieser Ausführungsform ist der Kompensationsregler 51 als Positionsregler ausgeführt. Der Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, Soll}$ wird mit einer am Überlagerungsgetriebe 19 gemessenen Drehwinkeldifferenz $\Delta\delta_H$ verglichen und über den zweiten Stromwandler 53 der Lenkradmotor 21 so angesteuert, dass die Änderung des Lenkgefühls am Lenkrad 3 aufgehoben wird.

[0059] Die Kompensation der Änderung des Lenkgefühls wurde bislang anhand eines Eingriffs in die Stellung der gelenkten Räder durch den Fahrdynamikregler 41 erläutert. Weitere Einflüsse, die für den Fahrer störend sind, können auch durch die in den Fig. 7 und 8 beschriebenen Kompensationsregelungen und -steuerungen eliminiert werden.

[0060] In Fig. 9 ist ein zweites Ausführungsbeispiel für die Integration einer Spurführungsregelung in das erfindungsgemäße Lenksystem dargestellt. Anders als bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 wird das Ausgangssignal des Spurführungsreglers 55 nicht auf das Soll-Lenkmoment $M_{M, Soll}$ addiert, sondern es wird eine Spurführungs-Lenkradwinkeldifferenz $\Delta\delta_{H*}$ zu dem modifizierten Lenkradwinkel δ_{H*} zu einem Soll-Lenkradwinkel $\delta_{H*, Soll}$ addiert und in den Fahrdynamikregler 41 eingeführt. Der Fahrdynamikregler 41 liefert die Ausgangsgrößen Korrektur-Lenkradwinkel $\Delta\delta_{H, Soll}$ und einen Soll-Ritzelwinkel $\delta_{Ritzel, Soll}$, welcher zusammen mit dem gemessenen Ritzelwinkel δ_{Ritzel} die Eingangsgröße des Positionsreglers 43 darstellt.

[0061] Das erfindungsgemäße Lenksystem und das erfindungsgemäße Verfahren zum Lenken eines Fahrzeugs können auch auf Lenkungen mit elektrohydraulischer Momentenunterstützung, auf Steer-by-Wire-Lenksysteme und Lenkungen ohne Überlagerungsgetriebe 19 erweitert werden.

[0062] Alle in der Zeichnung, der Beschreibung und den nachfolgenden Patentansprüchen beschriebenen Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander erfindungswesentlich sein.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Lenken eines Fahrzeugs, **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:

- Erfassen des Lenkradwinkels (δ_H);
- fahrgeschwindigkeitsabhängiges modifizieren des Lenkradwinkels (δ_{H*});
- ermitteln eines Korrektur-Lenkradwinkels ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) in Abhängigkeit der Fahrdynamik des gelenkten Fahrzeugs;
- überlagern von modifiziertem Lenkradwinkel (δ_{H*}) und Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) zu einem Soll-Lenkwinkel ($\delta_{\text{Ritzel, Soll}}$);
- erfassen der Stellung der gelenkten Räder (δ_{Ritzel});
- Bilden der Winkeldifferenz ($\delta_{\text{Ritzel, Soll}} - \delta_{\text{Ritzel}}$) zwischen Soll-Lenkwinkel und der Stellung der gelenkten Räder (7);
- regeln der Stellung der gelenkten Räder (7) in Abhängigkeit der Winkeldifferenz ($\delta_{\text{Ritzel, Soll}} - \delta_{\text{Ritzel}}$) und
- kompensieren des Korrektur-Lenkradwinkels ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) an der Lenksäule (1).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stellung der gelenkten Räder (7) durch einen ersten Positionsregler (43) mit PD-Charakteristik oder Kaskaden-Struktur oder einen adaptiven ersten Positionsregler (43) geregelt wird, dass das Ausgangssignal des ersten Positionsreglers (43) ein von einem Lenkmotor (11) auf das Ritzel des Lenkgetriebes (5) zu übertragendes Soll-Moment (M_{Soll}) ist, dass das Soll-Moment (M_{Soll}) in einen Soll-Strom (I_{Soll}) umgewandelt wird, und dass der Lenkmotor (11) mit dem Soll-Strom (I_{Soll}) angesteuert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Positionsregler (43) eine nichtlineare statische Kennlinie oder eine adaptiv verstellbare Kennlinie aufweist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehende Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der modifizierte Lenkradwinkel (δ_{H*}) in eine Soll-Gierrate (ω_{ref}) oder eine Soll-Querbeschleunigung (a_y) umgewandelt wird, und dass ein Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) in Abhängigkeit der Soll-Gierrate (ω_{ref}) oder der Soll-Querbeschleunigung (a_y) geregelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Gier-Regler (61) ein PID-Regler oder ein Modellfolge-Regler ist.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) in ein Korrekturmoment ($\Delta M_{H, \text{Soll}}$) umgewandelt wird, dass das zwischen beiden Teilen (1a, 1b) der Lenksäule (1) vorhandene Differenz-Moment (ΔM_H) gemessen wird, dass die Momentendifferenz aus dem Korrekturmoment ($\Delta M_{H, \text{Soll}}$) und dem Differenz-Moment (ΔM_H) gebildet wird, und dass der Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) in Abhängigkeit der Momentendifferenz ($\Delta M_{H, \text{Soll}} - \Delta M_H$) kompensiert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) in ein Korrekturmoment ($\Delta M_{H, \text{Soll}}$) umgewandelt wird, dass das Korrekturmoment (ΔM_H ,

Soll) in einen Soll-Korrekturstrom ($I_{H, \text{Soll}}$) umgewandelt wird, und dass der Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) am Lenkrad (3) in Abhängigkeit des Soll-Korrekturstroms ($I_{H, \text{Soll}}$) kompensiert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehwinkel-Differenz ($\Delta\delta_{H, \text{Ist}}$) zwischen beiden Teilen (1a, 1b) der Lenksäule (1) gemessen wird, dass die Winkeldifferenz aus Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) und Drehwinkel-Differenz ($\Delta\delta_{H, \text{Ist}}$) gebildet wird, und dass der Korrektur-Lenkradwinkel ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}}$) am Lenkrad (3) in Abhängigkeit der Winkeldifferenz ($\Delta\delta_{H, \text{Soll}} - \Delta\delta_{H, \text{Ist}}$) kompensiert wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehende Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Spurführungs-Lenkradwinkeländerung (δ_K) ermittelt wird, und dass in Abhängigkeit der Spurführungs-Lenkradwinkeländerung (δ_K) und des modifizierten Lenkradwinkels (δ_{H*}) dem Soll-Lenkmoment ($M_{M, \text{Soll}}$) eine Soll-Momentendifferenz ($\Delta M_{M, \text{Soll}}$) überlagert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Spurführungs-Lenkradwinkeländerung (δ_K) ermittelt wird, dass die Winkeldifferenz aus modifiziertem Lenkradwinkel (δ_{H*}) und Spurführungs-Lenkradwinkeländerung (δ_K) gebildet wird, dass in Abhängigkeit der Winkeldifferenz ($\delta_{H*} - \delta_K$) dem modifizierten Lenkradwinkel (δ_{H*}) eine Spurführungs-Lenkradwinkeldifferenz ($\Delta\delta_{H*}$) überlagert wird, und dass in Abhängigkeit des daraus resultierenden Soll-Lenkradwinkels ($\delta_{H*, \text{Soll}}$) der Soll-Lenkwinkel ($\delta_{\text{Ritzel, Soll}}$) geregelt wird.

11. Computerprogramm, dadurch gekennzeichnet, dass es zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche geeignet ist.

12. Computerprogramm, nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass es auf einem Speichermedium abgespeichert ist.

13. Steuergerät zum Steuern der Lenkung eines Fahrzeugs, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuergerät nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 arbeitet.

14. Lenkung für ein Fahrzeug mit einem an einer Lenksäule (1) angeordneten Lenkrad (3), mit einem Lenkgetriebe (5), mit einem an der Lenksäule (1) angeordneten dritten Drehwinkelsensor (27) oder erstem Momentensensor (29), mit einem über ein Überlagerungsgetriebe (19) auf die Lenksäule (1) wirkenden Lenkradmotor (11), mit einem hydraulischen oder elektrischen Lenksteller, mit einem zweiten Drehwinkelsensor (13) zur Messung der Stellung der gelenkten Räder (7) und mit einem Steuergerät, dadurch gekennzeichnet, dass ein auf die gelenkten Räder (7) wirkender Lenkmotor (11) vorhanden ist, und dass das Steuergerät ein Steuergerät nach Anspruch 13 ist.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

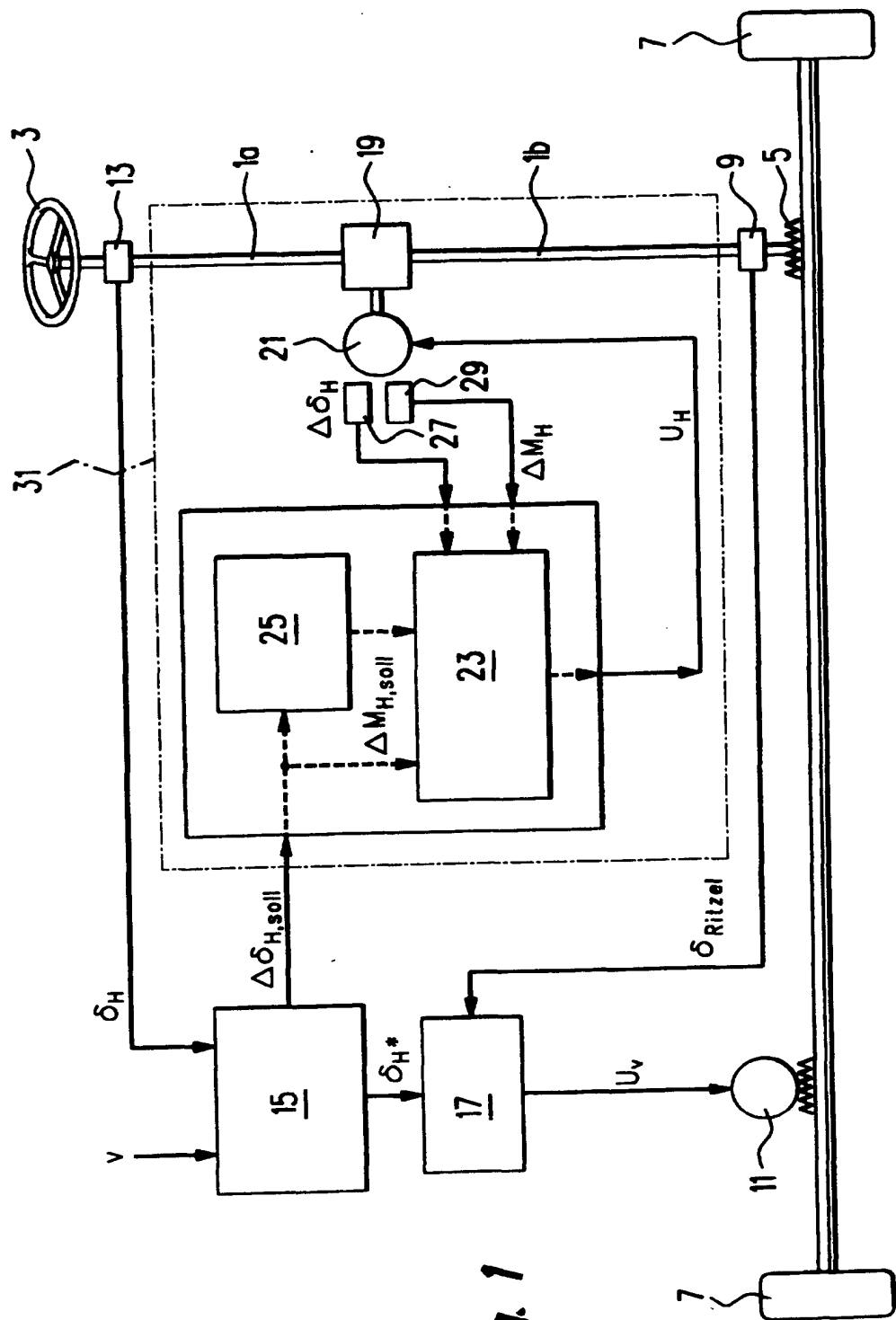


Fig. 1

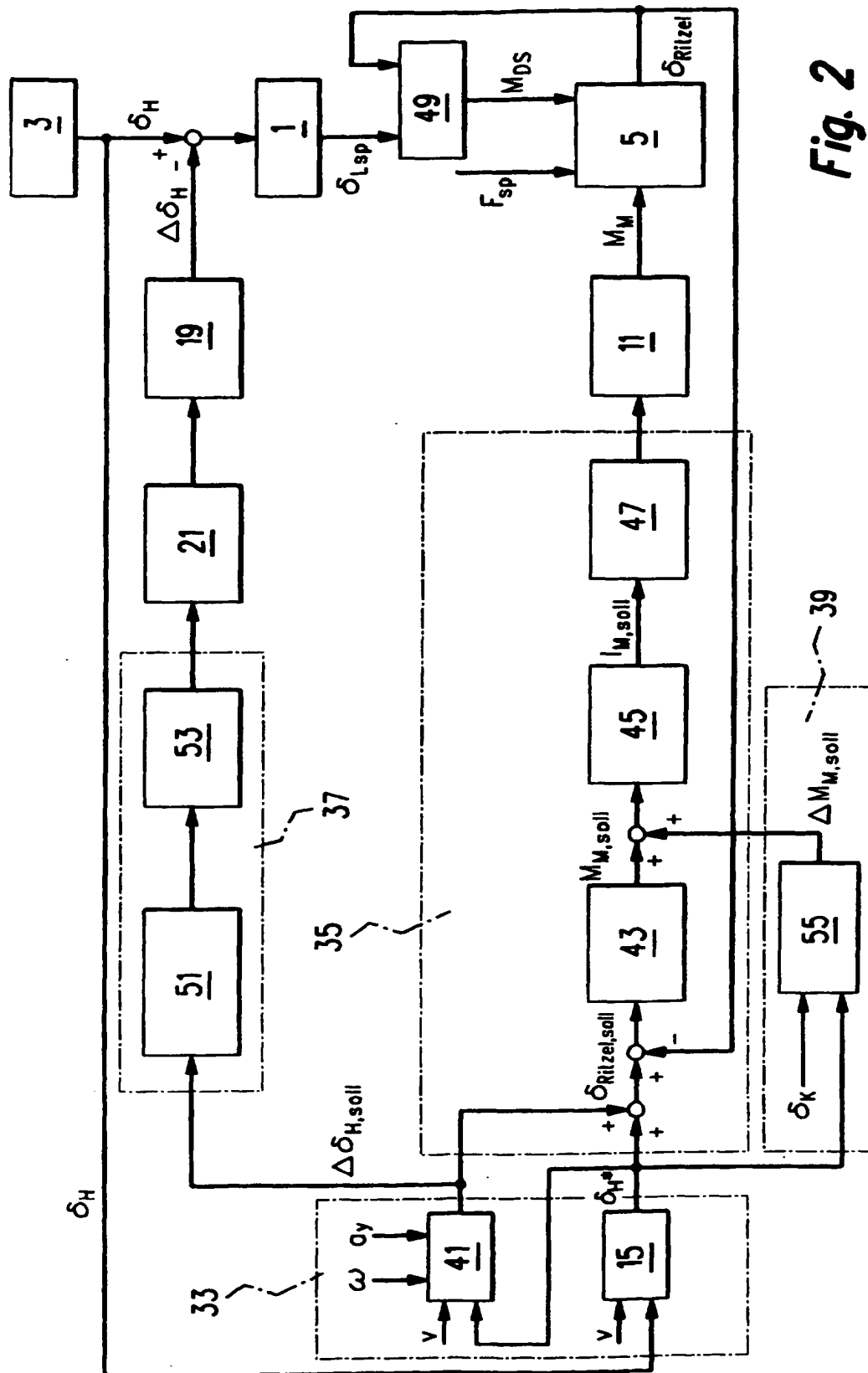
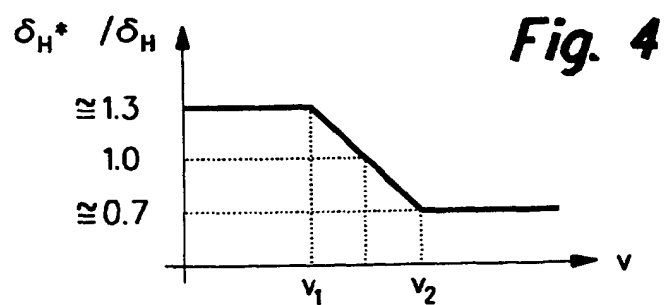
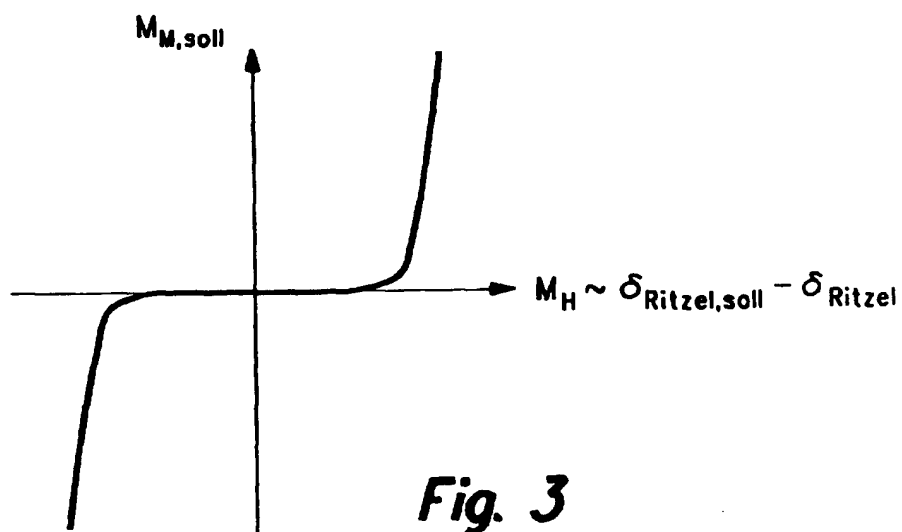
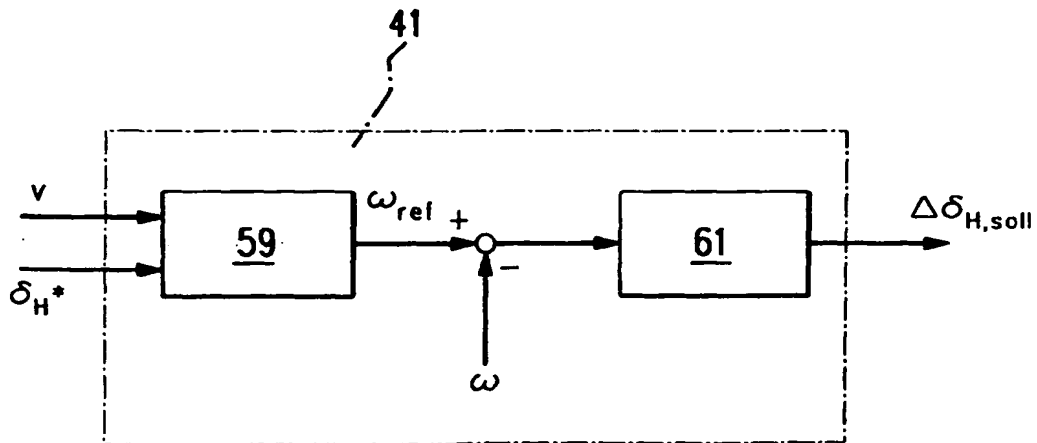
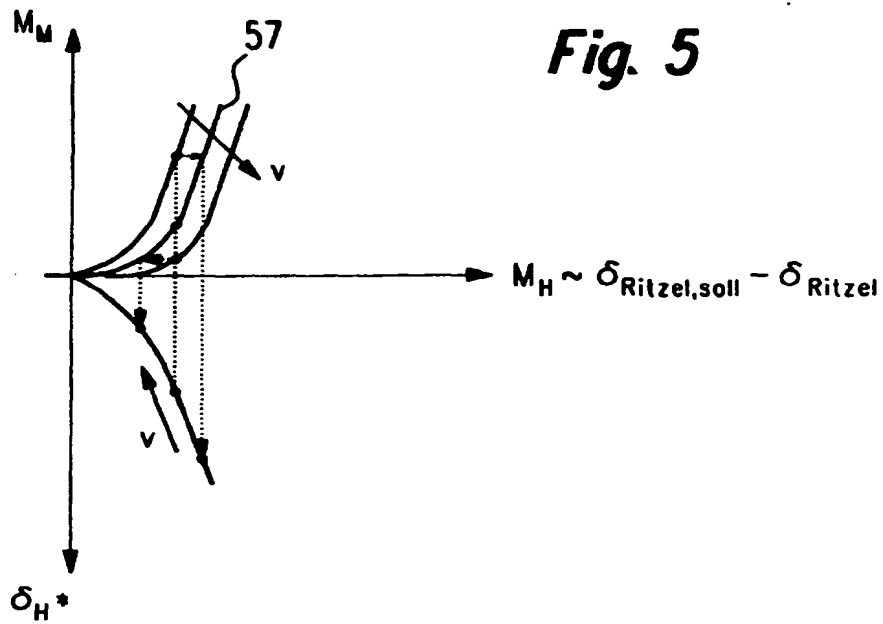


Fig. 2





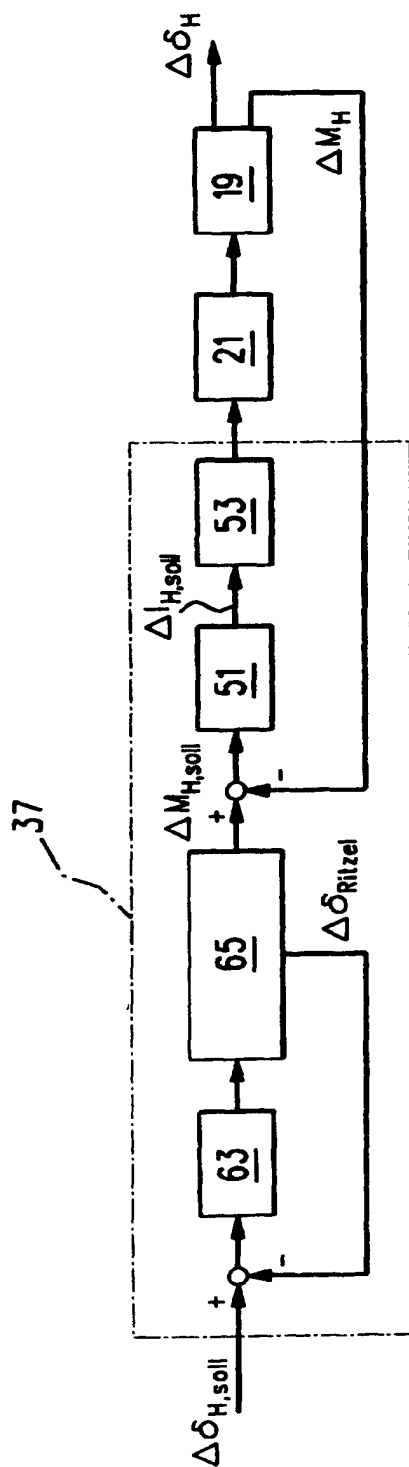


Fig. 7a

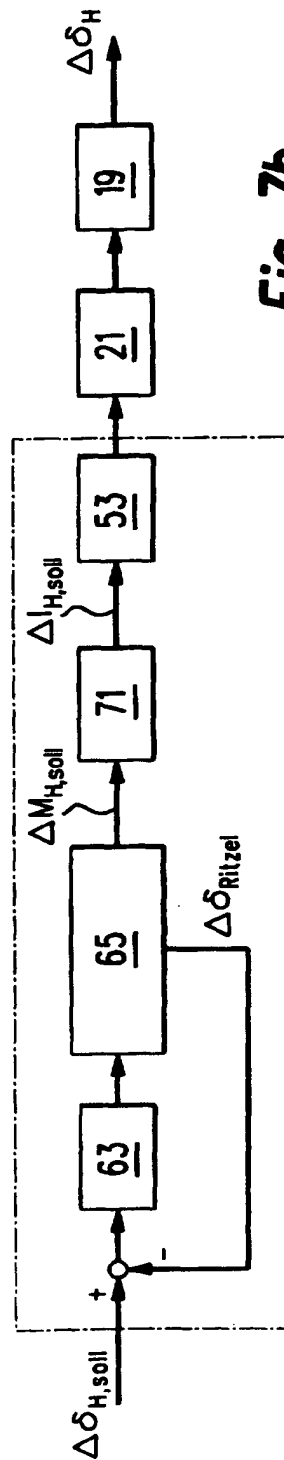


Fig. 7b

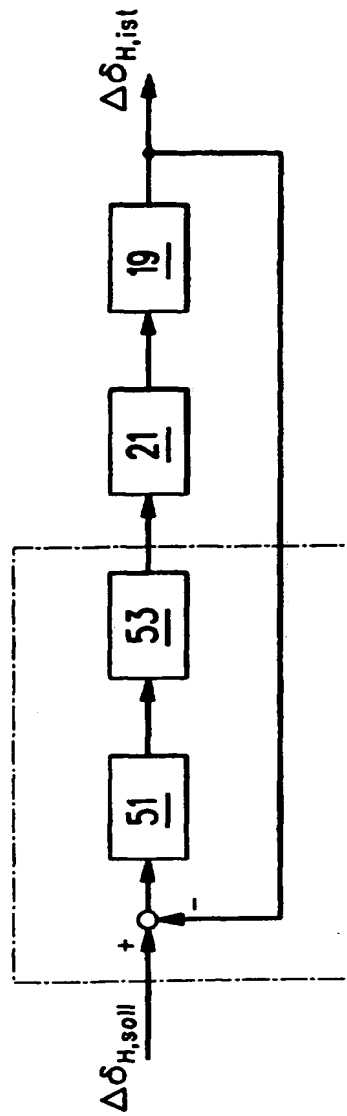


Fig. 8

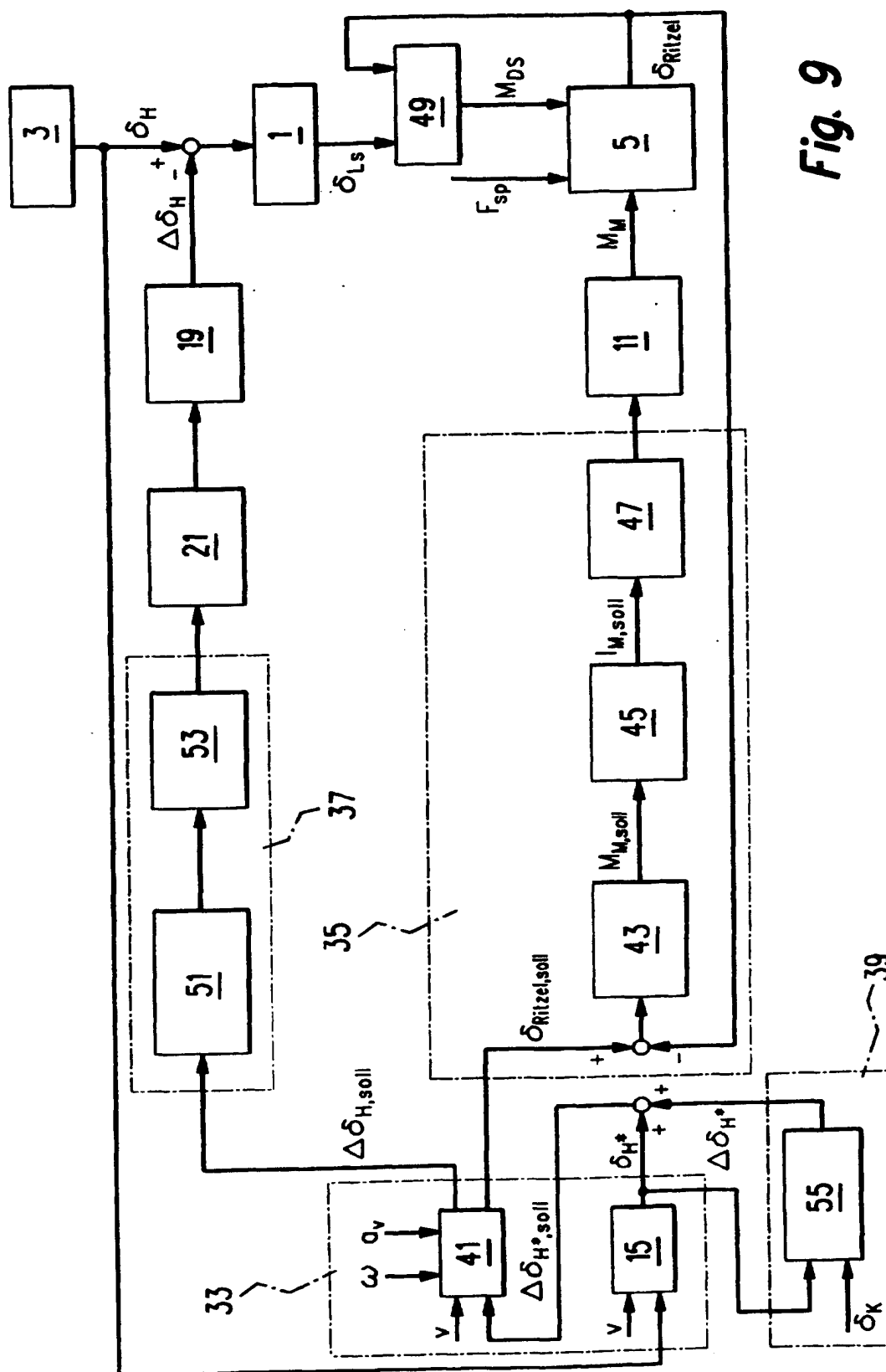


Fig. 9